

西安市水土流失空间分布特征与管控空间划分

刘刚¹, 李鹏¹, 张旭¹, 李占斌^{1,2}, 何文虹³, 霍春平³, 时鹏¹, 马勇勇¹, 谢梦瑶¹

(1.西安理工大学西北旱区生态水利国家重点实验室,西安 710048;2.中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西 杨凌 712100;3.西安市水利水土保持工作总站,西安 710016)

摘要: 城镇规模的快速发展是引发城市水土流失的关键因素。以西安市为研究区域,计算了各区县土壤侵蚀面积并进行了强度等级划分,分析了水土流失在空间上的分布特征并进行预测,识别出需要重点监管的区域。结果表明:西安市年均土壤侵蚀量为 278.49 万 t,年均土壤侵蚀模数为 176.74 t/(km²·a),微度侵蚀和轻度侵蚀占总侵蚀面积的 99.76%,中度侵蚀以上面积仅占 0.24%;未来情景下西安市各区域土壤侵蚀模数主要分布在 0~200 t/(km²·a),其中建成区和发展区土壤侵蚀面积分别为 65.37,302.19 km²;水土流失空间管控与重点区域主要分布在高陵区、鄠邑区、长安区和临潼区等地区。随着城市建设与发展的完善,西安市重点管控区的面积也在发生变化。

关键词: 水土流失; 西安市; 空间分布; 重点监管

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)03-0091-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.03.015

Spatial Distribution Characteristics of Soil Erosion and Spatial Division of Management and Control in Xi'an

LIU Gang¹, LI Peng¹, ZHANG Xu¹, LI Zhanbin^{1,2}, HE Wenhong³,

HUO Chunping³, SHI Peng¹, MA Yongyong¹, XIE Mengyao¹

(1.State Key Laboratory of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048; 2.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 3.Xi'an Soil and Water Conservation Station, Xi'an 710016)

Abstract: The rapid development of urban scale is the key factor that causes urban soil erosion. Taking Xi'an as the research area, the soil erosion area of each district and county was calculated and the intensity grade was divided, the spatial distribution characteristics of soil erosion were analyzed and predicted, and the areas requiring key supervision were identified. The results showed that the annual average amount of soil erosion in Xi'an was 2.784 9 million tons, the annual average soil erosion modulus was 176.74 t/(km²·a), the total area of micro-erosion and light erosion was 99.76%, and the area above moderate erosion was only 0.24%. Under the future scenario, the soil erosion modulus in Xi'an are mainly distributed in 0 to 200 t/(km²·a), of which the soil erosion area of the built-up area and the development area is 65.37 and 302.19 km² respectively; The spatial control and key areas of soil erosion are mainly distributed in Gaoling District, Huyi District, Chang'an District, and Lintong District. With the improvement of urban construction and development, the area of Xi'an key management and control area is also changing.

Keywords: soil erosion; Xi'an; spatial distribution; key supervision

随着城市化进程的加快,大规模的土地开发和建设工程使得具有重要生态水文功能的农田、林地、草地等景观单元消失,转变为大量的不透水面,区域下垫面条

件的改变显著影响到降雨径流过程,使得城市暴雨形成的径流水文过程出现峰高、量大的现象,引发大量的城市水土流失,并加重城市内涝灾害^[1]。如何做好城市

收稿日期:2019-11-01

资助项目:西安市城市水土保持关键技术研究项目(104-441118085);陕西省创新人才推进计划创新团队科技项目(水土资源环境演变与调控)(2018TD-037)

第一作者:刘刚(1982—),男,博士,主要从事水文模拟与水土保持研究。E-mail: liug06200052@163.com

通信作者:李鹏(1974—),男,博士,教授,博导,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: lipeng74@163.com

水土保持已成为我们面临的一个重大问题^[2]。

城市作为一个完整的人工生态系统,因大量频繁的人为活动,使得城市生态系统自我调节功能减弱且对污染物的环境容量降低,原始生态环境丧失平衡,从而导致新的水土流失。大量高强度的水土流失,不仅影响城市生态景观,而且危害城市基础设施和城市防洪安全。近年来,水土流失的关注焦点已经逐渐从野外流域^[3-4]转向城市^[5],国内外有关学者针对城市水土流失问题已经开展了相关研究。Wang 等^[6]研究了城市化对土壤侵蚀的影响程度,确定了城市化与土壤侵蚀模式之间的关系;Didit 等^[7]分析了土地利用变化对城市地表径流和土壤侵蚀的影响,提出了相应的水土保持措施;Napoleon 等^[8]对城市道路铺设形成的沟道侵蚀进行了深入分析。另外,胡彦婷等^[9]对城市型县级水土流失重点防治区复核划分进行了研究;刘济云等^[10]将“海绵城市”理念融入到城市水利工程水土保持设计中。其他学者在城市建设规划造成的水土流失、水土保持区域划分、城市水土保持存在的问题及防治策略等方面也进行了深入研究^[11-13]。

本文以西安市为例,分析了城市水土流失在空间上的分布特征,对各区县的土壤侵蚀做出了定量评估,根据不同的侵蚀强度等级确定各区县的土壤侵蚀面积,根据现状对西安市未来水土流失程度做了预测分析,找出需要加强监管的重点区域,为西安市水土流失防治体系及水土保持方案的完善提供技术支撑。

1 研究区概况

西安市地处关中平原中部,北濒渭河,南依秦岭。全市下辖 11 区 2 县,总面积 10 752 km²。属暖温带半湿润大陆性季风气候,冷暖干湿四季分明。年平均气温 15.5℃,年降水量 522.4~719.5 mm。城市河流主要包括泾河、渭河、泾河、灞河、浐河、镐河、沣河、涝河 8 条河流,素有“八水绕长安”之美誉,各区县及河流水系分布见图 1。主要土壤类型形成南北 2 个差异明显的区域,北部的渭河平原以黄褐土、褐土为代表,南部的秦岭山地以黄棕壤、棕壤为代表。随着西安城市化进程的日益加快,截止 2018 年末,常住人口已达 1 000.37 万,其中城镇人口 740.37 万,城镇化率 74.01%。高速的城市化进程一方面在很大程度上改变了城市原有的地形地貌以及生态环境,另一方面局部水资源水循环系统的改变,使得在强降雨条件下容易造成较为严重的水土流失。

西安市水土流失以水力侵蚀为主,降雨是影响西安市水土流失最主要的因素。而人为不合理的生产建设活动,则是触发和加剧西安市水土流失的根本原

因。城市大面积开发建设以及在开发建设过程中缺乏水土保持意识是造成水土流失的主要人为因素。城市水土保持是预防和治理城市开发建设过程所造成的水土流失,因此对水土流失的空间分布和面积估算是预防和治理的前提。



图 1 西安市各区县及水系分布

2 材料与方法

2.1 数据来源

研究需要的基础数据包括西安市 1:50 000 数字高程地形图 (DEM), 西安市水文局和气象局提供的主要河流及 1998—2017 年的月降水数据, 国土资源局提供的 2017 年土地利用数据及土壤类型数据。高程处理及各水土流失因子的计算与提取在 ArcGIS 10.2 的空间分析和数值计算操作平台上完成。

2.2 研究方法

目前,土壤侵蚀量的定量测算方法中模拟模型法在土壤侵蚀研究中应用最为广泛^[14]。该方法使用的模型分为统计模型与过程模型 2 类,二者分别以美国 1965 年提出的通用土壤流失方程 USLE (Universal Soil Loss Equation)^[15] 以及 1997 年在其基础上建立的修正模型 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)^[16] 为代表。其中 RUSLE 模型所使用的数据更广,资料的需求量也有较大提高。因此,本研究采用 RUSLE 模型来计算西安市土壤侵蚀量,其计算公式为:

$$M = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: M 为土壤侵蚀模数 ($t/(hm^2 \cdot a)$); R 为降雨侵蚀力因子 ($MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$); K 为土壤可蚀性因子 ($t \cdot hm^2 \cdot h/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$); L 、 S 分别为坡长和坡度因子,无量纲; C 为生物措施因子,无量纲; P 为水土保持措施因子,无量纲。

降雨侵蚀力主要衡量雨滴冲击的动能,反映降雨这一气候因素对土壤侵蚀的潜在作用能力^[17]。由于降雨资料难以获得,一般利用气象站整编降雨资料评估计算降雨侵蚀力。本研究中采用刘秉正^[18]公式计算降雨侵蚀力,计算公式为:

$$R = 105.44 \frac{(P_{6-9})^{1.2}}{P_a} - 140.9 \quad (2)$$

式中: P_{6-9} 为同年 6—9 月降水量之和 (mm); P_a 为同

年降水量(mm)。根据西安市 1998—2017 年月降雨量及年降雨量数据推算出年降雨侵蚀力,累加后取多年平均得到年均降雨侵蚀力,通过计算得出西安市年均降雨侵蚀力为 67.65 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。

土壤可蚀性因子反映土壤被降雨侵蚀力分离、冲刷和搬运的难易程度^[19],根据数字化的土壤类型图层,将 K 值赋予相应的土壤类型。计算方法采用 EPIC 模型法^[20],计算公式为:

$$K=\left\{0.2+0.3\exp\left[-0.0256S_a\left(1-\frac{S_i}{100}\right)\right]\right\}\left(\frac{S_i}{C_i+S_i}\right)^{0.3}\left[1-\frac{0.25C_o}{C_o+\exp(3.72-2.95C_o)}\right]\left[1-\frac{0.7S_n}{S_n+\exp(-5.51+22.9S_n)}\right]\tag{3}$$

式中:S_n=1-S_a/100;S_a为砂粒(2~0.05 mm)含量(%);S_i为粉粒(0.05~0.002 mm)含量(%);C_i为黏粒(<0.002 mm)含量(%);C_o为有机碳含量(%).计算后的 K 值结果见图 2。

地形地貌特征对土壤侵蚀的影响集中表现在坡长与坡度两方面,因此一般用 L、S 因子估算地形因素对土壤侵蚀的影响。二者是降雨侵蚀动力的加速因子,计算方法^[21]为:

$$L=\left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^m\tag{4}$$

$$\begin{cases} S=10.8\sin\theta+0.03 & \theta<5^\circ \\ S=16.8\sin\theta-0.50 & 5^\circ\leq\theta<10^\circ \\ S=21.9\sin\theta-0.96 & \theta\geq10^\circ \end{cases}\tag{5}$$

式中:L 为坡长因子;S 为坡度因子;λ 为坡长(m);θ 为坡度(°);m 为坡长指数,值取决于坡度:θ≤1°,m=0.2;1°<θ≤3°,m=0.3;3°<θ≤5°,m=0.4;θ>5°,m=0.5。LS 因子计算结果见图 3。

生物措施因子用来表征所有植被的特征,水土保持措施因子是特定水土保持措施下的土壤流失量与相应未实施该措施的顺坡种植时的土壤流失量之比值。因此,C、P 因子是降雨侵蚀动力的重要抑制因子^[22],二者的变化值域均为 0~1。在流域土壤侵蚀研究中,难以通过实测方法确定相关参数值,往往采用依据土地利用类型赋值的方法确定 C、P 值^[23],具体赋值参考表 1 和表 2,C、P 赋值后的空间分布见图 4 和图 5。

表 1 C 因子赋值

植被 盖度/%	林园地	草地	耕地	其他用地
0~20	0.10	0.45	0.23	0.001
20~40	0.08	0.24	0.23	0.001
40~60	0.06	0.15	0.23	0.001
60~80	0.02	0.09	0.23	0.001
80~100	0.004	0.04	0.23	0.001

表 2 P 因子赋值

土地利用类型	园地	林地	草地	房屋建筑(区)	道路	构筑物	其他用地
赋值	0.70	0.25	0.75	0.10	0.10	0.10	1.00

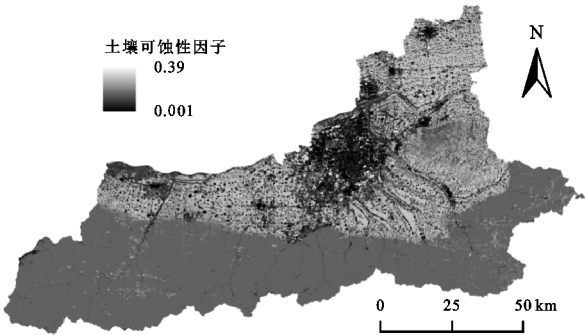


图 2 西安市土壤可蚀性因子空间分布

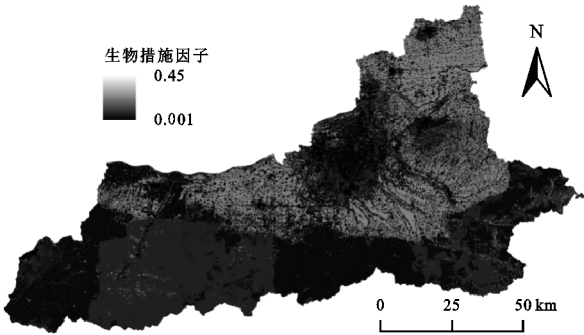


图 4 西安市生物措施因子空间分布

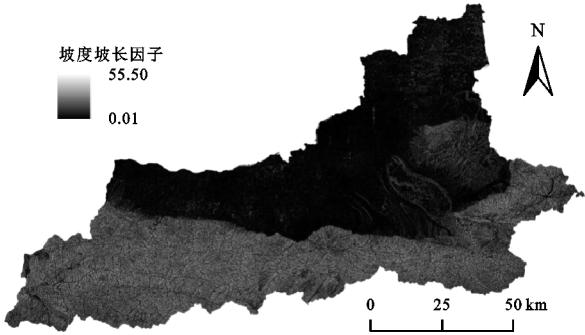


图 3 西安市坡度坡长因子空间分布

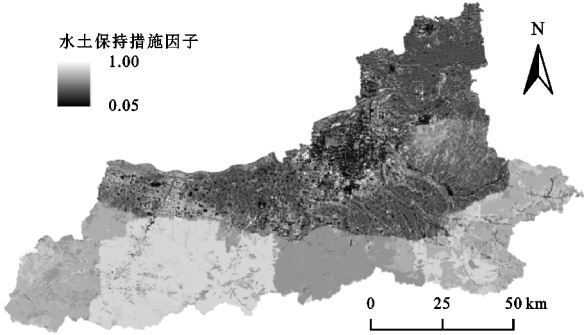


图 5 西安市水土保持措施因子空间分布

3 结果与分析

3.1 水土流失空间分布

将水土流失因子图层在统一的坐标系下转化为相同像元大小的栅格图,基于地理信息数据管理平台计算各因子图层在统一投影面积上的乘积,得到西安市土壤侵蚀空间分布图(图 6)。根据水利部《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—2007)^[24]和西安市实际水土流失情况对水蚀强度的分级标准确定土壤侵蚀分级指标,统计了全西安市及三环以内不同土壤侵蚀等级面积分布情况(表 3)。据统计西安市土壤侵蚀面积为 10 058.07 km²,其中 99.76%的侵蚀面积集中于微度侵蚀和轻度侵蚀,中度侵蚀以上面积仅占总侵蚀面积的 0.24%。

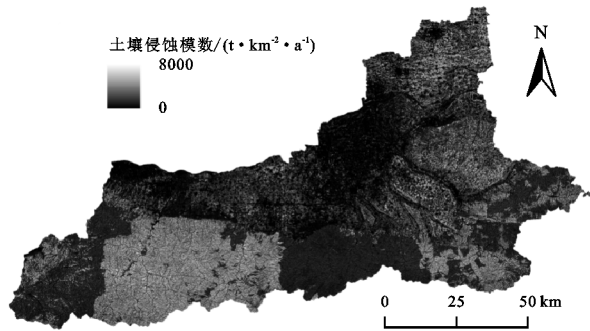


图 6 西安市土壤侵蚀模数空间分布

表 3 西安市不同土壤侵蚀等级面积分布情况

侵蚀等级(侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹))	西安市		三环内	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
微度侵蚀(<200)	5790.03	57.57	419.35	92.05
轻度侵蚀(200~2500)	4244.41	42.20	36.22	7.95
中度侵蚀(2500~5000)	23.31	0.23	0.02	0.004
强度侵蚀(5000~8000)	0.31	0.003	0	0
极强度侵蚀(8000~15000)	0	0	0	0
剧烈侵蚀(>15000)	0	0	0	0
合计	10058.07	100	455.59	100

以主城区为界分析了西安市三环内不同土壤侵蚀等级面积分布情况。据统计西安市三环内面积 455.59 km²,其中有微度、轻度、中度 3 种侵蚀类型分布,微度侵蚀为三环内主要侵蚀类型,区域内 92.05%的面积存在微度侵蚀,与西安市微度侵蚀所占比例相比提升 34.48%。与此同时,微度侵蚀以上类型侵蚀均有不同程度的减少,减少幅度分别为 34.25%,0.23%,0.003%。以西安市所辖区县为界,统计分析了西安市各区县土壤侵蚀情况(表 4)。结果显示,西安市年均土壤侵蚀量为 278.49 万 t,年均土壤侵蚀模数为 176.74 t/(km²·a)。西安市各区县土壤侵蚀模数最大值显示,该值最大值与最小值分布于莲湖区和周至县,差值为 5 065.63 t/(km²·a)。西安市各区县土壤侵蚀模数的标准差结果显示,碑林区、未央区、莲湖区、新城区、雁塔区 5 个基础设施完善的主要城区的土壤侵蚀模数在空间上的分布差异较小,鄠邑区、周至县、蓝田县、临潼区、阎良区土壤侵蚀模数在空间上的分布差异较大。

以西安市所辖区县为界,统计分析了微度、轻度、中度、强度侵蚀在各区县的分布情况(表 5)。据统计,西安市各区县以微度、轻度侵蚀为主,其中未央区、新城区、碑林区、莲湖区、雁塔区 5 个基础设施完善的主要城区微度侵蚀占总侵蚀面积的比例均值为 93.11%;蓝田县、鄠邑区、周至县、临潼区、阎良区 5 个市中心辐射较远的区县微度侵蚀占总侵蚀面积的比例均值为 52.18%,与西安市主要城区相比该值下降了 40.93%。对西安市各区县中度、强度侵蚀面积之和占总侵蚀面积的比例进行统计,结果显示该比例在西安市各区县从大到小依次为:阎良区、临潼区、蓝田县、高陵区、灞桥区、周至县、鄠邑区、长安区、碑林区、未央区、新城区、雁塔区、莲湖区。

西安市城镇建设速度在主城区的波动程度剧烈,故

表 4 西安市各区县土壤侵蚀情况

区县名	面积/ km ²	年均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	最大值/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	年土壤侵蚀量/ (t·a ⁻¹)	标准差
灞桥区	318.62	127.18	7281.85	40522.41	288.43
碑林区	23.07	28.09	2849.42	647.99	110.53
高陵区	285.13	196.94	5309.68	56153.11	359.66
鄠邑区	1273.61	326.41	7492.91	415721.62	388.26
蓝田县	1997.98	321.67	6534.99	642687.26	407.45
莲湖区	38.30	33.80	2427.28	1294.35	127.37
临潼区	931.66	301.21	6126.55	280622.54	465.84
未央区	259.40	38.97	4492.81	10108.63	120.78
新城区	31.80	36.85	3060.49	1171.63	128.45
阎良区	228.71	324.85	6437.57	74296.83	524.21
雁塔区	149.77	65.05	2849.42	9742.50	175.69
长安区	1578.84	152.65	7482.09	241005.34	244.16
周至县	2939.10	343.95	7492.91	1010900.16	389.28

表 5 西安市各区县不同土壤侵蚀分类面积分布情况

区县名	微度侵蚀		轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
灞桥区	253.84	79.67	64.26	20.17	0.50	0.16	0.02	0.01
碑林区	22.05	95.59	1.02	4.41	0.002	0.01	0	0
高陵区	192.17	67.40	92.35	32.39	0.61	0.22	0.003	0.001
鄠邑区	623.26	48.94	648.86	50.95	1.47	0.12	0.03	0.002
蓝田县	1031.51	51.63	959.05	48.00	7.35	0.37	0.07	0.003
莲湖区	36.10	94.26	2.20	5.74	0	0	0	0
临潼区	520.10	55.83	405.42	43.52	6.08	0.65	0.05	0.01
未央区	240.53	92.73	18.86	7.27	0.01	0.01	0	0
新城区	29.89	94.01	1.90	5.99	0.001	0.003	0	0
阎良区	129.10	56.44	97.45	42.61	2.15	0.94	0.03	0.01
雁塔区	133.27	88.98	16.50	11.02	0.003	0.002	0	0
长安区	1164.45	73.75	413.16	26.17	1.21	0.08	0.02	0.001
周至县	1412.42	48.06	1522.66	51.81	3.92	0.13	0.10	0.003

3.2 水土流失预测与评价

根据《西安市水土保持规划》(2016—2030 年),将“城市水土流失易发监管区”作为城市水土流失预测与评价的关键区域。为协调城市建设与区域生态保护的关系,优化城市空间布局,将西安市分为建成区、发展区、规划区(图 7)。二环以内的市域范围具有众多重大人文价值场所,且城市建设与发展较为完善,故将二环以内归为建成区。二环至三环部分城市建设步伐日益加快,是西安市重要的发展区域,故将其归为城市发展区。三环以外的西安市部分包括基本农田保护区、重点河流域控制区、地表水源一级保护区、国家或省级自然保护区的核心区、重大基础设施通道安全防护区等市域范围内对各类建设具有生态敏感性的地区,属于易流失监管区。该类地区是城市发展优先选择的地区,将该区定义为城市规划区。

设置并计算了现状和预测 2 种情景下的西安市各区域不同土壤侵蚀等级面积分布情况(表 6)。其中未来预测中设置将耕地和低矮城中村改造转化为建设工地^[25],模拟计算建设项目增加时西安市不同区域的土壤侵蚀模数变化情况。根据计算结果,西安市各区域土壤侵蚀仍以微度侵蚀为主要侵蚀等级,其中建成区微度侵蚀面积占区域面积之比大于发展区

和规划区。根据情景模拟结果,建成区和发展区预测情景下的侵蚀等级从微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀 3 种类型增加至微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀并存的状况。将西安市各区域土壤侵蚀模数进行等距统计(表 7),结果显示,现状情景下西安市各区域土壤侵蚀模数主要分布在 0~200 t/(km²·a),其中建成区和发展区面积分别为 71.84,347.50 km²,占比分别为 94.75%和 91.51%。未来情景下西安市各区域土壤侵蚀模数仍主要分布在 0~200 t/(km²·a),其中建成区和发展区土壤侵蚀面积分别为 65.37,302.19 km²,占比分别为 86.21%和 79.57%,即随着建设的进行,西安市各区域土壤侵蚀量会出现增加的情况。

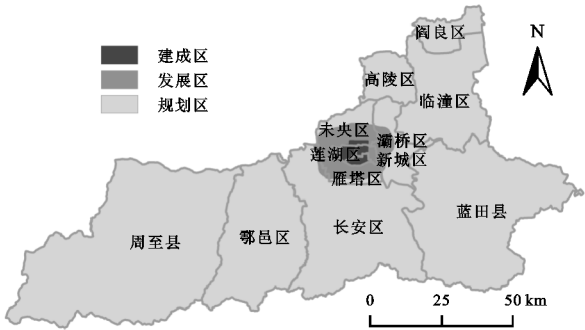


图 7 西安市发展建设区域划分

表 6 西安市各区域不同土壤侵蚀等级面积分布情况

情景	区域	微度侵蚀		轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀	
		面积/km ²	百分数/%	面积/km ²	百分数/%	面积/km ²	百分数/%	面积/km ²	百分数/%
现状	建成区	71.84	94.75	3.98	5.25	0.003	0.004	0	0
	发展区	347.50	91.51	32.25	8.49	0.02	0.004	0	0
	规划区	842.22	78.09	235.50	21.29	0.87	0.08	0.005	0
预测	建成区	65.37	86.21	10.45	13.78	0.01	0.02	0.001	0.001
	发展区	302.19	79.57	77.54	20.42	0.03	0.01	0.002	0
	规划区	842.22	78.09	235.50	21.83	0.87	0.08	0.005	0

3.3 水土流失管控区域划定

由于生产建设期间产生的水土流失较为严重,应

加强水土保持监督监测等行政监管。根据《西安市水土保持规划(2016—2030)》,按照规划目标和水土保持

持区划的整体战略格局,综合分析水土流失防治现状和趋势,将涉及新城、碑林、莲湖、未央、雁塔等 5 区全部,以及长安、灞桥、临潼、高陵、鄠邑等 5 区的部分地区划分为城市水土流失易发监管区,遵循“一体两翼”

的战略布局。该区以人为水土流失为主,为了加强水土保持监管力度,以西安市土壤侵蚀模数为依据,在城市水土流失易发区的基础上找出需要重点管控的区域。

表 7 西安市各区域不同土壤侵蚀分类面积分布情况

情景	区域	面积及占比	土壤侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)					
			0~200	200~400	400~600	600~800	800~1000	>1000
现状	建成区	面积/km ²	71.84	2.35	0.89	0.42	0.16	0.17
		百分比/%	94.75	3.09	1.17	0.55	0.22	0.23
	发展区	面积/km ²	347.50	18.70	7.66	3.39	1.36	1.16
		百分比/%	91.51	4.92	2.02	0.89	0.36	0.30
	规划区	面积/km ²	842.22	102.70	77.11	22.94	14.26	19.36
		百分比/%	78.09	9.52	7.15	2.13	1.32	1.80
预测	建成区	面积/km ²	65.37	5.37	2.34	1.47	0.64	0.64
		百分比/%	86.21	7.08	3.09	1.94	0.85	0.85
	发展区	面积/km ²	302.19	42.22	17.51	10.72	3.94	3.18
		百分比/%	79.57	11.12	4.61	2.82	1.04	0.84
	规划区	面积/km ²	842.22	102.70	77.12	22.94	14.26	19.36
		百分比/%	78.09	9.52	7.15	2.13	1.32	1.80

西安市各区县土壤侵蚀模数主要分布在 0~200 t/(km²·a),以 200 t/(km²·a)为划分依据,将西安市土壤侵蚀模数>200 t/(km²·a)的区域归为重点管控区,在此基础上统计了西安市建成区、发展区、规划区重点管控区的面积,其中建成区重点管控区的面积为 3.98 km²,发展区重点管控区的面积为 32.26 km²,规划区重点管控区的面积为 236.37 km²。统计结果显示,西安市各区域建成区、发展区、规划区重点管控区的面积占区域面积的比例分别为 5.25%,8.50%,21.92%。西安市水土流失空间管控与重点区域主要分布在“两翼”地区,包括高陵、鄠邑、长安、临潼等地区,重点管控区域分布见图 8。随着城市建设与发展的完善,西安市重点管控区的面积也随之发生变化。

属于微度侵蚀和轻度侵蚀,中度侵蚀以上面积仅占总侵蚀面积的 0.24%。三环内的区域以微度侵蚀为主,占比达到 92.05%。

(2)西安市年均土壤侵蚀模数为 176.74 t/(km²·a),碑林区、未央区、莲湖区、新城区、雁塔区 5 个基础设施完善的主要城区的土壤侵蚀模数在空间上的分布差异较小,鄠邑区、周至县、蓝田县、临潼区、阎良区土壤侵蚀模数在空间上的分布差异较大。

(3)未来情景下西安市各区域土壤侵蚀模数仍主要分布在 0~200 t/(km²·a),其中建成区和发展区土壤侵蚀面积分别为 65.37,302.19 km²,占比分别为 86.21%和 79.57%。随着生产建设项目的进行,各区域土壤侵蚀量也会相应增加。

(4)西安市建成区、发展区、规划区重点管控区的面积占区域面积的比例分别为 5.25%,8.50%,21.92%。城市水土流失空间管控与重点区域主要分布在高陵区、鄠邑区、长安区和临潼区等地区。随着城市建设与发展的完善,西安市重点管控区的面积也随之发生变化。

参考文献:

[1] 张涛.基于流域生态安全理念的多尺度城市防洪排涝研究[D].重庆:重庆大学,2017.

[2] 彭珂珊.我国水土保持在生态文明建设中的实践与思考[J].首都师范大学学报(自然科学版),2016,37(5):58-69.

[3] 方广玲,香宝,赵卫,等.基于 GIS 和 RUSLE 的拉萨河流域土壤侵蚀研究[J].水土保持学报,2015,29(3):6-12.

[4] 丁杰,杨新兵,朱辰光,等.崇礼清水河流域土壤侵蚀空间格局及其影响因素研究[J].水土保持学报,2018,32(4):73-80.

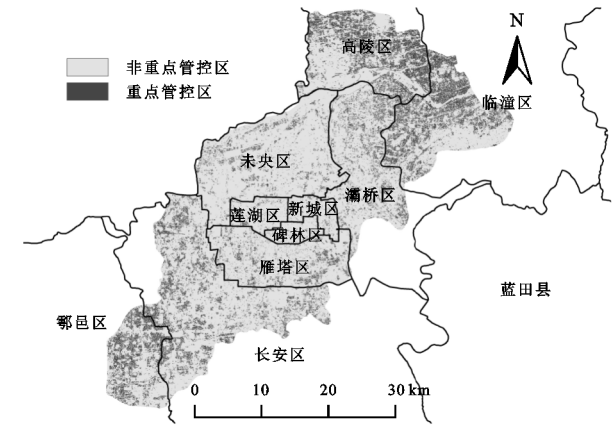


图 8 西安市水土流失重点管控区域分布

4 结论

(1)西安市年均土壤侵蚀量为 278.49 万 t,土壤侵蚀面积为 10 058.07 km²,其中 99.76%的侵蚀面积

[5] 滕明君.快速城市化地区生态安全格局构建研究[D].武汉:华中农业大学,2011.

[6] Wang L Y, XiaoY, Rao E M, et al. An assessment of the impact of urbanization on soil erosion in Inner Mongolia[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2018,15(3):550-562.

[7] Dudit O P, Derek V, Stephan P. Impact of peri-urban agriculture on runoff and soil erosion in the rapidly developing metropolitan area of Jakarta, Indonesia[J]. Regional Environmental Change,2018,18 (7):2129-2143.

[8] Napoleon G E, Trent W B, Carlos C, et al. Measuring ephemeral gully erosion rates and topographical thresholds in an urban watershed using unmanned aerial systems and structure from motion photogrammetric techniques[J]. Land Degradation & Development, 2018, 29 (6):1896-1905.

[9] 胡彦婷,王守俊,张富,等.城市型县级水土流失重点防治区复核划分研究[J].水土保持通报,2017,37(6):291-298.

[10] 刘济云,杨亚珠.浅谈“海绵城市”理念在城市水利工程水土保持设计中的应用[J].水土保持应用技术,2018 (1):48-49.

[11] Yang M A. The impact of urban building planning on soil and water loss in the peripheral eco-environment [J].Ekoloji,2019,28(107):2521-2531.

[12] 侯雷,吴发启,吴秉校,等.陕西省西安市水土保持区划研究[J].水土保持通报,2017,37(1):315-318,324.

[13] 任文,刘莹.西安市城市水土保持工作实践与探索[J].中国水土保持,2017(9):59-61.

[14] 仲艳维.潮白河流域水土保持效益评价及生态补偿制度构建研究[D].北京:北京林业大学,2014.

[15] Wischmeier W H, Smith D D. Agricultural Hand-book: Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[R].United States Department of Agriculture,1978.

[16] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Agricultural Handbook: Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[R].United States Department of Agriculture,1997.

[17] 李铖,李俊祥,朱飞鸽,等.基于 RUSLE 的环杭州湾地区土壤侵蚀敏感性评价及关键敏感因子识别[J].应用生态学报,2009,20(7):1577-1585.

[18] 刘秉正.渭北地区 R 的估算及分布[J].西北林学院学报,1993(2):21-29.

[19] 王晓峰,常俊杰,余正军,等.基于 RUSLE 的土壤侵蚀量研究:以南水北调中线陕西水源区为例[J].西北大学学报(自然科学版),2010,40(3):545-549.

[20] 郑海金.赣北红壤坡面水土保持措施保水减沙作用研究[D].北京:北京林业大学,2012.

[21] Mccool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J].Transactions of the ASAE, 1987, 30 (5): 1387-1396.

[22] 姬翠翠,李晓松,曾源,等.基于遥感和 GIS 的宣化县水土流失定量空间特征分析[J].国土资源遥感,2010,22 (2):107-112,117.

[23] 钟德燕.基于 USLE 模型的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[24] 水利部.SL 190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2007:8-9.

[25] 刘文平.基于景观服务的绿色基础设施规划与设计研究[D].北京:中国农业大学,2014.

(上接第 90 页)

[21] 陈姗姗,刘康,李婷,等.基于 InVEST 模型的商洛市水土保持生态服务功能研究[J].土壤学报,2016,53(3): 800-807.

[22] 王国宏,张新时.从生态地理背景论草地畜牧业产业在黄土高原农业可持续发展中的战略地位[J].生态学报, 2003,23(10):2018-2025.

[23] 侯贵荣,毕华兴,魏曦,等.黄土残塬沟壑区刺槐林枯落物水源涵养功能综合评价[J].水土保持学报,2019,33 (2):251-257.

[24] 任志远,刘焱序.西北地区植被保持土壤效应评估[J].资源科学,2013,35(3):610-617.

[25] Shukla A K, Pathak S, Pal L, et al. Spatio-temporal assessment of annual water balance models for upper Ganga Basin[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2018,22(10):5357-5371.

[26] 张敏,刘爽,刘勇,等.黄土丘陵缓坡风沙区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J].水土保持学报,2019,33 (3):115-128.

[27] 卞鸿雁,庞奖励,任志远,等.基于土地利用变化的土壤保持效益时空动态:以黄土高原南部为例[J].生态学杂志,2012,31(9):2391-2396.

[28] 侯贵荣,毕华兴,魏曦,等.黄土残塬沟壑区 3 种林地枯落物和土壤水源涵养功能[J].水土保持学报,2018,32 (2):357-363.

[29] 邓景成,高鹏,穆兴民,等.黄土高原退耕还林工程对生态环境的影响及对策建议[J].水土保持研究,2017,24 (5):63-68.